



西南地区页岩油实现“从无到有”突破

□勘探分公司物探研究院
院长、党委书记 石文斌

由勘探分公司和江汉油田共同提交的四川盆地复兴油田首期探明地质储量正式通过自然资源部评审备案,标志着我国在四川盆地成功发现首个页岩油田,实现了西南地区页岩油“从无到有”的战略性突破。这不仅为四川盆地开辟了全新的油气勘探领域和重要增产阵地,更对保障国家能源安全、推动非常规油气资源开发具有重大战略意义。

四川盆地早—中侏罗世发生了三期湖侵,形成了东岳庙段、大安寨段及凉二段三套富含有机质页岩。侏罗系油气勘探工作始于1956年,1997年后一度停滞。2018年,多家单位联合评价侏罗系三套页岩,其中东岳庙段页岩品质最优,部署实施涪页10井取得页岩油气的勘探发现,但未能突破商业产能关。

面对困境,勘探团队大胆提出新思路,将目标转向品质略低的凉高山组。该层系页岩夹粉砂岩纹层,脆性高,层理缝发育,理论上是压裂造缝获高产油的理想条件。勘探分公司组建“地质+物探+测井”联合团队,通过查找海量钻井资料发现,以前被认为沉积中心的复兴北部页岩品质平平,而复兴南部泰来地区有机质含量更高、油气显示更活跃,页岩品质远超预期。这一关键发现彻底扭转了勘探方向,锁定了凉高山组为侏罗系首要目标,复兴南部为核心战场。

2021年,四川盆地首口页岩油风险探井泰页1井在复兴地区实现突破。团队通过岩芯精细描述,精准确定上油层为“甜点层”,工程上采用“少段多簇+暂堵转向+大排量+强加砂”高效体积压裂技术,实现了凉高山组页岩油的重大突破。

此后,复兴地区勘探开发全面提速。勘探分公司与江汉油田紧密结合,按照“整体部署、立体评价、分步实施、滚动建产”思路,持续扩大勘探领域、提升产能,勘探见开部署的兴页9井测试日产油超百立方米。

攻关团队形成了“淡水湖盆中等有机碳页岩高滞留”“凉高山组页岩源储一体”“高演化—强封闭—弱改造造成藏富集规律”等原创性理论认识。复兴油田的突破找到了四川盆地陆相页岩油勘探的“金钥匙”——高孔、高含油、高脆的“三高”特性,引领了四川盆地无坝、泰江等多个区块页岩油的重新评价,推动东岳庙段勘探思路由东—亚段转向东—三亚段。

未来,勘探分公司将持续深化四川盆地侏罗系页岩油富集规律研究,优化整体评价与部署,加大勘探开发力度,力争尽快落实第二个页岩油规模增储阵地。

四川盆地页岩油的“复兴之路”

勘探分公司和江汉油田提交的复兴油田探明地质储量通过自然资源部评审,标志着四川盆地首个页岩油田诞生

突破“富气少油”困局 理论创新催生新油田

□本报记者 姜智利 毕亦巍 通讯员 刘 晶

在勘探分公司陈列室里,一瓶棕黄色的原油在灯光的照射下,金光闪闪如同液体黄金,这是复兴油田发现井——泰页1井的原油样品。

7月,由勘探分公司和江汉油田提交的复兴油田探明地质储量顺利通过了自然资源部评审,标志着我国四川盆地首个页岩油田诞生。

剑指页岩

走出“富气少油”的“浪浪山”

“我想离开浪浪山,出去闯闯。”正在热映的国产动画电影《浪浪山小妖怪》道出了人们对突破困境、追寻价值的渴望。

在能源勘探的宏大版图中,四川盆地长期被认为“富气少油”,对于在四川盆地找油的勘探人员来说,犹如一座难以翻越的“浪浪山”。

新中国成立后,老一辈勘探人掀起川中石油大会战,女2井、南充3号井等多口井钻获原油。但由于当时受地质认识和工艺技术限制,仅获南充、龙女等7个小油田。

“早期四川盆地原油勘探集中于探索侏罗系碳酸岩裂缝性油藏,是典型的常规勘探思路,数十年来勘探效果欠佳,原油年产量自1997年最高点的21.6万吨递减至2009年时几乎可以忽略不计。”勘探分公司副总经理、总地质师魏志红说。

2009年,北美页岩革命启示勘探分公司科研团队将页岩油气地质理论引入四川盆地侏罗系,勘探思路战略性地转向“源内找油”。

“源内找油”就是在烃源岩里找油,是典型的非常规油气勘探思路。2010年6月,原勘探

南方分公司(现勘探分公司)成立了页岩气勘探项目管理部,这是中国石化首个专门的页岩油气勘探项目部。

他们联合江汉油田、石油勘探开发研究院等单位,以勘探开发一体化思路,强化老井复查,兼探并取全取准各项资料,立足全盆地进行系统的基础地质条件与勘探潜力再认识和再评价。

勘探开发团队创新建立了以“高TOC(总有有机碳含量)、高孔隙度、高含油气性”为基础,进而优选“高含油率、高脆性”层段的陆相页岩油选层评价体系,据此部署了风险探井泰页1井。

2021年,该井喜获日产油58.9立方米、气7.35万立方米的高产油气流,实现了四川盆地凉高山组陆相页岩油勘探的历史性突破,并保持稳产高产,截至8月25日,累计产油1.18万吨、气1954万立方米。

复兴地区页岩油勘探开发全面提速。勘探开发团队将复兴油田视作共同的战场,紧密配合、一体化推进。江汉油田按照“整体部署、试验先行、滚动评价、加快推进”的工作思路,在复兴油田南部相继部署了4口评价井和4口试验井组,进一步扩大了勘探发现,夯实了资源基础。

复兴地区后续评价井钻探成功率高达91%,共获工业油气流井20口,也辐射带动了四川盆地其他地区的陆相页岩油气勘探。

十年一剑

坐热陆相页岩油勘探“冷板凳”

“复兴油田的发现历经曲折,在很长的一段时间,陆相页岩油气勘探就是典型的‘冷板凳’。”

勘探分公司页岩气项目部经理魏祥峰说。2012年以来,一批海相页岩气探井不断试获工业气流,而陆相页岩油勘探却迟迟未见突破。

为解决陆相页岩油富集机理问题,勘探分公司物探研究院陆相页岩气研究室副主任师刘苗苗一头扎进200多米岩芯的微观世界,展开“纹层寻油”攻坚战。通过微米—毫米—厘米级岩芯精细对比,她和同事们提出了“纹层型页岩为最有利勘探岩相”的地质认识,明确“纹层型页岩广泛分布、向斜宽缓稳定、地层弱超压—超压,保存条件好”控制了复兴地区页岩油规模原位富集成藏,这一观点在后来复兴地区的甩开勘探中得到了充分印证。

面对侏罗系陆相页岩岩性复杂、储层薄、夹层多,常规地球物理评价及预测技术适应性差,“甜点”精细预测难度大的难题,陆相页岩气研究室主任刘晓晶带领团队持续攻关。他们综合页岩厚度、TOC、孔隙度等地质参数,创新形成了强非均质陆相页岩关键参数地球物理预测技术,大幅提升了预测精度,预测相对误差小于10%。

在工程技术方面,侏罗系陆相页岩隔夹层多,黏土矿物含量高、塑性强,压裂成缝机理不明。面对难题,勘探分公司涪陵项目部扎实开展基础工作,不停摸索尝试,创新形成了侏罗系陆相页岩“适度密切+增压扩缝+强化微细裂缝支撑”压裂工艺,纵向穿层率提升20.4个百分点,突破了陆相页岩体积压裂技术瓶颈。

经验燎原

点燃“复兴经验”星星之火

复兴油田的成功,点燃了四川盆地页岩油



科研人员进行岩芯描述分析。姜智利 摄

勘探的星星之火。如今,“复兴经验”正从复兴地区走向全盆地,让更多沉睡的页岩油资源苏醒。

“复兴油田创新形成的理论认识和关键技术,对补充、完善我国页岩油气勘探开发理论、技术和标准体系具有重要意义。”魏祥峰说。

科研团队创新形成的陆相页岩油富集规律认识和评价指标体系,就像给页岩油“画像”,为类似地质条件地区的勘探提供了重要参考。在这套理论指导下,勘探人员重新审视四川盆地的侏罗系页岩,进一步明确了四川盆地3个大型整装页岩油有利勘探区。

新的资源分布格局初步构建,中国石化页岩油勘探的重大突破和复兴页岩油田的发现,使原油增储上产迎来了机遇期,实现了老一代勘探人在四川盆地找到大油田的夙愿。

攻坚新类型陆相页岩油气效益勘探开发

□本报记者 夏 梅
通讯员 曹梦茜 崔 静 肖伟杰

近日,复兴油田诞生的消息引发广泛关注。江汉油田勘探开发研究院战略规划所副所长潘利生说:“复兴地区侏罗系为陆相新类型页岩油气,具有高黏土、中低有机质丰度、多隔夹层、复杂相态等显著特点,现有理论、技术无法完全适用。”

面对这一挑战,江汉油田持续开展地质工程一体化攻关,通过数年的探索与实践,逐步构建起一套针对复兴侏罗系页岩油气的勘探开发理论及配套技术体系。

找规律

摸清规律扩大勘探成果

“这里的有机质丰度只是中等偏低水平,资源量究竟有多大?它能支撑得起后期开发吗?”2019年,科研人员将目光聚焦四川盆地复兴地区的陆相侏罗系页岩油。

江汉油田勘探开发研究院天然气勘探所主任师舒逸介绍,有机质丰度决定烃源岩的生烃能力,而生烃能力直接影响资源量。复兴地区的侏罗系页岩,特别是其主层段之一的凉高山组页岩,属于一种全新的陆相类型,它天生“富不富”?

科研人员选取了川东地区凉高山组的露头页岩样品进行生烃模拟实验。数据揭示,即使是中低有机质丰度的陆相页岩,也蕴藏着相当可观的生烃潜力。更关键的是,它们具有“细水长流”的特点,生油过程持续时间长。

科研人员持续开展大量基础研究,明确侏罗系页岩储层发育特征及优质储层发育机理,建立了复兴向斜区侏罗系页岩油气“多层系富集、多压力系统分布、多流体赋存”原位成藏模

式,摸准了复兴侏罗系多隔夹层、中高热演化陆相页岩富集规律。通过自主攻关,江汉油田建立了复兴侏罗系复杂岩相、薄层页岩“甜点”预测及评价技术,对指导后期井位部署提供了关键支撑。

2021年,勘探分公司部署的泰页1井实现页岩油气新层系勘探重大突破。

江汉油田积极部署复兴区块勘探开发工作,进一步扩大勘探发现,夯实资源基础。

勘探开发团队将复兴油田视作共同的战场,紧密配合、一体化推进,相继在复兴地区部署了多口评价井和试验井组,新的突破不断涌现。

江汉油田在拔山寺南向斜中部部署实施的4口勘探评价井均取得较好效果,实现了拔山寺南向斜的整体控制;进一步甩开评价拔山寺向斜北部,部署实施的4口探井均获高产油气流……

为进一步落实资源规模,明确开发技术政策,为效益开发做好准备,江汉油田部署了泰页1井试验井组,探索凉二下亚段页岩层系油藏合理的开发技术政策和压裂改造工艺。

找方法

安全高效开采挥发性油气藏

找到了油气富集规律和“甜点”区,一个更现实的问题摆在科研人员面前:这深埋地下的宝藏,怎样才能安全高效地采出来?

“油气勘探开发要算好效益账。我们通过系列研究,创建了复兴侏罗系复杂相态陆相页岩油气开发评价关键技术,奠定了复兴页岩油形成效益开发场面的基础。”江汉油田专家刘宇琦说。

基于此,江汉油田开展不同穿层压裂模拟、井组试验方案优化设计、矿场动态监测评价,优选适应性开发技术政策,为复兴油田后

续的效益开发提供了示范。

“高黏土、多压力系统,摩擦大,钻井复杂风险高,井漏高达51.4%。”江汉油田石油工程技术研究院钻井工程所主任师胡象辉说。

为此,科研人员对井身结构进行优化,确定“导管+二开次”安全成井井身结构,延长技术套管封住上部漏垮地层。优选强抑制性钻井液体系,减少钻井液与页岩反应,试验不同粒径的堵漏材料,收到立体封堵的效果,研发适合陆相页岩的高效先锋PDC钻头(聚晶金刚石复合片钻头),形成复杂地层防漏防塌安全钻井技术和降摩减阻优快钻井技术,钻井周期持续缩短。

高黏土在压裂时成了最大的拦路虎。“岩石像泥巴,很难压开,压开后很快闭合。”工程技术管理部储改工艺室主任游园说,“人工缝网改造就像把岩石镶嵌在海绵里,打造出既宽又长还持久的复杂缝网是非常大的挑战。”

他们推广高排量、高液量压裂参数,增强打开地层的“力量”,同时采取密切割的方式,形成复杂人工缝网,最大限度地沟通油藏。运用压裂新思路,泰页1井组试气均获工业油气流,其中泰页1—5HF井测试获日产气1.96万立方米、油31.6吨。

此外,为了给高效采油蹚出一条明路,他们精心部署了泰页1、兴页L1等试验井组及多口开发评价井,开展井网井距、水平段长度和穿层试验。

“这下我们心里有底了,合理的开发井距要大于300米,主要开发层系为⑥~⑧小层,2500米长水平段配套主体工艺基本明确,④小层进一步提产攻关后,未来可与⑥~⑧小层叠置构建立体开发模式。”页岩气管理部气藏评价室副主任师王健说。

找支撑

明确稳产之道立稳效益根基

“前期靠气体的携液能力产油,后期能力下降后,页岩油产量会快速下降,稳产难度大。”潘利生说,“复兴油田属于典型的挥发性页岩油气藏,开采时油、气、水同时采出,如何保持稳产,国内没有先例。”不仅如此,油气井普遍结蜡严重,影响正常生产。

稳产是储量提交与效益开发的前提。“探明储量评审的一项重要指标,是需要提供连续3个月的稳定试采产量支撑。”潘利生说。

通过试验,他们明确了小油嘴控压生产是油气井高产稳产的重要手段;依据井筒结蜡动态预测模型,建立不同排采阶段的清防蜡制度,形成了相应的技术规范,解决了气井蜡卡蜡堵难题。

结合油气开采时产生轻烃、混烃易燃易爆的特点,科研人员改进试油气、采油气工艺流程,优化轻烃、挥发性有机物等收集工艺,制定凝析油和轻烃安全储存转运操作规程,确保页岩油气安全开发。

此外,在探明储量提交过程中,面对高含蜡对储量核心参数孔隙度分析的干扰,他们试验洗油融蜡方法,采用二维核磁共振测试手段精确测量岩芯孔隙度,超前部署保压取芯井,成功获取原始地层压力状态下的岩芯样品,精准落实含油率,保障参数的精准可靠。

复兴油田增储上产工程驶入快车道

□江汉油田专家 彭 伟

侏罗系勘探取得重大突破后,江汉油田迅速组织开展了勘探评价工作,并牵头开展中国石化“十条龙”项目“复兴陆相页岩油气勘探开发关键技术”科研攻关,快速推进了区内井位部署和基础研究认识,明确了复兴侏罗系陆相页岩成烃—成储机理及油气富集规律,建立了多项关键技术体系。

经过多轮次的攻关研究,江汉油田明确了复兴侏罗系多隔夹层、中高热演化陆相页岩富集规律,支撑落实10亿吨页岩油、万亿立方米页岩气规模增储阵地;建立复兴侏罗系复杂岩相、薄层页岩“甜点”预测及评价技术,形成了侏罗系陆相页岩油气选区评价标准,支撑勘探评价井部署,落实3个大型勘探评价目标;创建了复兴侏罗系复杂相态陆相页岩油气开发评价关键技术,构建了富黏土、多压力系统页岩油气配套工程技术系列,钻井井综合成本持续下降,压裂增储效果持续增强,多口井测试日产油超百立方米,凉高山组页岩油初步达到效益开发条件。同时,东岳庙段页岩气勘探评价也取得积极进展,多口井测试获工业油气流,但产能差异大。钻探证实东岳庙段页岩品质优、分布稳定,落实资源量规模大,但黏土含量高,压裂改造难度大,需要进一步开展提产攻关试验。

复兴油田的发现标志着四川盆地页岩油实现“从无到有”的战略性突破。

复兴油田已取得勘探开发良好效果,但要实现规模效益开发仍需进一步推动提产降本攻关:一是加大勘探开发一体化协同力度,协同规划后续井位实施,高效推进复兴中区探明储量提交工作,加大复兴中北部凉高山组页岩油气开发试验井组评价力度,扩大复兴侏罗系规模建产阵地;二是推动地质工程一体化,进一步开展复兴侏罗系陆相页岩油气提效降本大兵团攻关,实现复兴陆相页岩油气效益开发、规模建产;三是加大勘探开发一体化攻关力度,持续攻关东岳庙段页岩气压裂改造技术,实现商业开发。



兴页1 201HF井压裂施工现场。李占军 摄